

Aus der Prothetischen Abteilung der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
Direktor : Prof. Dr. F. Jung

**Untersuchungen über den Einfluss von
Feuchtigkeit auf die Haftfestigkeit verschiedener
Befestigungsmittel**

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
Mainz

vorgelegt von
WOLFGANG HEGERL
aus Cochem/Mosel

Mainz 1966

Aus der Prothetischen Abteilung der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz
Direktor: Prof. Dr. F. Jung

**Untersuchungen über den Einfluss von
Feuchtigkeit auf die Haftfestigkeit verschiedener
Befestigungsmittel**

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
Mainz

vorgelegt von
WOLFGANG HEGERL
aus Cochem/Mosel

Mainz 1966

Dekan: Professor Dr. Diethelm

Referent: Privatdozent Dr. H. Marx

Correferent: Professor Dr. F. Jung



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einführung in die Aufgabe der Arbeit
2. Theoretischer Teil
Erläuterungen zur Chemie der untersuchten Materialien
3. Praktischer Teil
Methodik
 - a) Sachmethodik
 - Allgemeines
 - Angewandte Prüfmethode
 - b) Statistische Methodik
4. Ergebnisse
 - a) Tabellen der Meßwerte
 - b) Varianzanalyse
 - Insgesamt
 - Orthogonal
 - c) Auswertung durch Tabellenbetrachtung
5. Diskussion, Besprechung der Ergebnisse
6. Zusammenfassung
7. Literaturverzeichnis



Digitized by the Internet Archive
in 2026

1. Einführung in die Aufgabe der Arbeit.

Es stellt sich bei der Herstellung zahnärztlicher Ersatzstücke oft die Aufgabe, so verschiedene Materialien wie Porzellan, Kunststoff und Metall miteinander zu verbinden. Die Befestigung von Facetten und Zähnen aus Porzellan oder Kunststoff etwa an Metallbrücken und Metallprothesen wird dabei erheblichen Anforderungen genügen müssen, da häufig starke Kräfte des Kaudruckes einwirken können. Das feuchte Milieu der Mundhöhle wird ebenfalls zu einer erheblichen weiteren Beanspruchung der Verbindung beitragen. Chemische Einflüsse durch den Speichel dürften demgegenüber an Bedeutung zurücktreten. Schließlich sind es noch verschieden große Temperaturunterschiede, die sich ungünstig auswirken. Sie können beim Tragen festsitzenden Zahnersatzes im Munde auftreten, etwa beim Aus- und Einatmen und beim Kontakt mit Nahrungsmitteln. Beim herausnehmbaren Ersatz werden sie evt. noch größer sein, je nach seiner Aufbewahrung außerhalb des Mundes. Im letzteren Falle spielt sicher auch das dann mögliche abwechselnde Austrocknen und Befeuchten der Befestigungsstellen eine Rolle.

Man kann nun z.B. Porzellanfacetten auf bekannte Art mittels eingebraunter mechanischer Verankerungen (z.B. Langstifte) in Metallfassungen etwa durch Vernieten befestigen. Auch das "Aufschrumpfen" von Metall auf Porzellan (S t o s c h e k 23) ist möglich. Es führt wie das Aufbrennen von Porzellan auf Metall zu einer unmittelbaren Verbindung der beiden Stoffe.

Die Klebverbindung ermöglicht es, die gestellten Aufgaben einfacher zu erfüllen. In der Industrie werden Klebstoffe für entsprechende Zwecke schon lange angewendet. Bemerkenswerterweise konnten sie sogar häufig solchen Anforderungen genügen, wie sie vorher nur durch Nieten, Schweißen oder Verschrauben zu erfüllen waren. Diese Klebverbindungen halten zum Teil enorme Belastungen aus, wie aus der ausgedehnten Verwendung etwa im Flugzeugbau zu

ersehen ist.

Für den Gebrauch in der Zahnheilkunde werden erst seit relativ kurzer Zeit solche Klebstoffe bzw. Zemente hergestellt. Diese Arbeit soll mit dazu beitragen, ihre Verwendungsfähigkeit für diesen Zweck zu überprüfen, wobei speziell die Haftfestigkeit und eine Beeinflussung durch eine lange Naßlagerung untersucht worden ist. Getestet wurden folgende Zemente bzw. Klebstoffe:

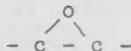
	Präparat/Kleber	Hersteller
A	Tenet	Vivadent, Liechtenstein
B	F88	International Dental Co.Ltd. Philadelphia/USA
C	Justi Resin-Cement	Ivoclar, Liechtenstein
D	Uhu-Plus	Uhu-Werk H. u. M. Fischer Bühl (Baden)

Davon sind F88 und Justi Resin-Cement füllstoffhaltige Autopolymerisate. F88 ist neu auf dem Markt erschienen und nach Angaben der Hersteller im Gegensatz zu Resin-Cement auch zur Anwendung an vitalen Zähnen vorgesehen. Der Industriekleber Uhu-Plus - ein Epoxydharz - und das in der zahnärztlichen Praxis verwendete Phosphatzement Tenet wurden zu Vergleichszwecken mit untersucht. Wird in der Folge der Ausdruck "Zement" oder "Kleber" ohne genauere Bezeichnung gebraucht, so sind damit immer alle 4 untersuchten Materialien gemeint.

2. Theoretischer Teil:

Erläuterungen zur Chemie der untersuchten Materialien:

Uhu-Plus gehört in die Reihe der sog. "Epoxydharze" oder "Äthoxylinharze". Diese Stoffe sind gekennzeichnet durch die Epoxydverbindungen. Den wesentlichen Bestandteil der Epoxydverbindungen bilden eine oder mehrere Gruppen, bei denen neben einer normalen Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung noch eine weitere durch ein Sauerstoffatom in Brückenbindung vorhanden ist. Es ergibt sich also das Formelbild

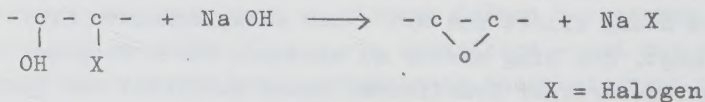


Die übliche Schreibweise des Sauerstoffatoms über dem normalen Bindungszeichen zwischen den beiden Kohlenstoffatomen ließ diese Lage als charakteristisch erscheinen. Man spricht vom "Epi-Sauerstoff". Den von den beiden Kohlenstoffatomen und dem Sauerstoffatom gebildeten Dreiring bezeichnet man dementsprechend als Epoxydgruppe. Wenn auch die durch das Sauerstoffatom verbundenen Kohlenstoffatome möglichst benachbart sein sollen, so liegt in seltenen Fällen auch ein Vierring vor, der die für die Epoxydgruppe typische Reaktionsfähigkeit aufweist. Letztere hat ihre Ursache darin, daß sich ein Ring dieser Art nur unter starkem Zwang bildet und mit einer entsprechenden Kraft dahin drängt, den Ring wieder zu sprengen durch Eingehen verschiedenartiger Reaktionen. Diese Labilität des Epoxydringes bewirkt die Neigung der Epoxydverbindungen zur Polymerisation. Außerdem zeigt das Sauerstoffatom das Bestreben, aus Verbindungen, die ein labiles Wasserstoffatom enthalten, dieses unter Ringsprengung aus seinem Verband herauszureißen und damit eine mit dem Epoxydgruppen-Kohlenstoffatom verknüpfte Hydroxylgruppe zu bilden. Man bezeichnet nun eine solche Umsetzung, bei der zwei Verbindungen restlos zu einer neuen aufgehen, als Additionsreaktion.

Vor etwa zwei Jahrzehnten wurde entdeckt, daß höhermolekulare Epoxydverbindungen in die Epoxydharze übergehen können. Epoxydharze sind also Polyadditionsharze. Die Aditionsreaktionen können in vielen Fällen in unverdünntem, geschmolzenem oder erweichtem Zustande vor sich gehen und sind deshalb für die Herstellung von Kunststoffen aus Kunstharzkompositionen geeignet. Das Gemeinsame von Polymerisation und Polyaddition besteht darin, daß die Bildung von Kunststoffen ohne Abspaltung einer anderen Verbindung vor sich geht. Doch wird die Polymerisation in der Regel direkt vom Fachmann in der Fabrik vorgenommen, etwa zur Herstellung von Formstücken, während die Polyaddition erst bei der Verwendung durch den Verbraucher durchgeführt wird.

Zwei technische Verfahren sind zur Gewinnung von Epoxydverbindungen üblich:

1. Die Oxydation olefinischer Doppelbindungen mittels Luft, reinem Sauerstoff, Wasserstoffsuperoxyd, Perameisen- oder Peressigsäure oder Chromsäure.
2. Die Abspaltung von Halogenwasserstoff mittels Alkali aus Halogenhydrinen, bei denen das Halogenatom und die Hydroxylgruppe sich vorzugsweise am benachbarten Kohlenstoffatom befinden, nach folgendem Schema:



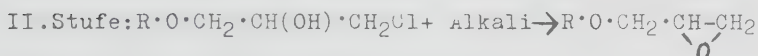
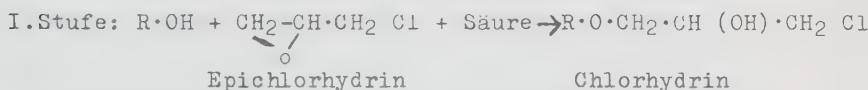
Der Aufbau höhermolekularer, schwefelhaltiger Epoxydverbindungen ist ebenfalls möglich und wird, wenn auch in geringerem Ausmaße, vorgenommen. Sie werden in der Weise hergestellt, daß für sich bereitete Epoxydharze mit höhermolekularen, aber noch reaktionsfähigen Thioholen homogen gemischt und durch Erhitzen unter Bildung von Thioäthern in den unlöslichen und unschmelzbaren Zustand übergeführt werden.

Halogenhaltige Epoxydverbindungen mit drei Kohlenstoffatomen, besonders Epichlorhydrin und 1,3 Dichlorhydrin

bieten einige Vorteile beim Aufbau von Epoxydharzen. Additionsreaktionen mit der Epoxydgruppe können hiermit auch im stark saurem Medium oder bei Verwendung saurer Katalysatoren durchgeführt werden. Außerdem läßt sich zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt von neuem eine Epoxydgruppe ausbilden.

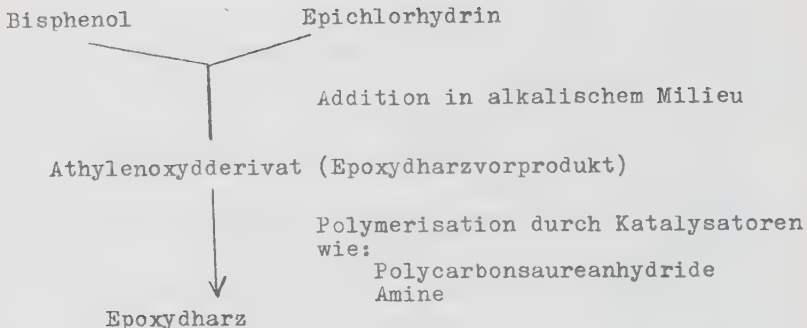
Als zweite Ausgangssubstanz dienen Polyphenole, vor allem zweiwertige und zweikernige Phenole, die Bisphenole. In einer ersten Stufe bildet sich in diesem Fall bei der Epoxydaddition ein substituiertes Chlorhydrin. Das Chlorhydrin kann dann in einer zweiten Stufe mittels Alkali in ein Epoxyd übergeführt werden:

(= Additionsreaktion)



$R \cdot OH$ = Hydrocylgruppenhaltige Substanz, Epoxyd
z.B. Bisphenol

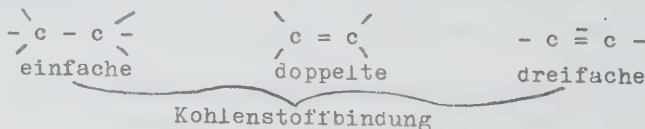
Dieses Zweistufenprinzip dient zur Gewinnung der meisten höhermolekularen Epoxydverbindungen. Das entstandene Äthylenoxydderivat ist nicht oder höchstens teilweise polymerisiert. Erst die endgültige Polymerisation und Härtung, wie sie, wie schon angeführt, der Verbraucher selbst durchführt, läßt aus den einzelnen Kompositionen das Epoxydharz entstehen. Diese in den Handel kommenden Kompositionen sind demnach Epoxydharzvorprodukte. Ihre Polymerisation und Härtung erfolgt nun entweder durch Anwendung einer bestimmten, höheren Temperatur oder in anderen Fällen durch Zumischen gewisser Katalysatoren bei gewöhnlicher Temperatur. Solche Katalysatoren sind Polycarbonsäureanhydride und Amine sowie ihre Derivate. Im Prinzip verläuft die Gewinnung der Epoxydharze also folgendermaßen:



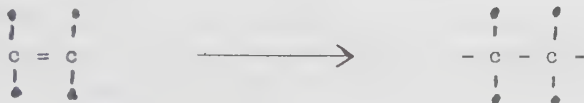
Nach ihrer Entdeckung begannen die Epoxydharze recht bald, sich für die verschiedensten Verwendungszwecke als geeignet zu erweisen. Sie bewährten sich dank ihrer ausgezeichneten Eigenschaften, wie Haftfestigkeit, Elastizität, Härte, Festigkeit, chemischen Widerstandsfähigkeit, Geruchlosigkeit, Lichtechtheit und Isolierfähigkeit bei ihrer Anwendung zunächst als Metallklebstoffe, dann Lacke und schließlich Gießharze. Hier interessiert jedoch nur die Eignung als Klebstoff. Es ist verständlich, daß bei gleichen Ausgangssubstanzen die Eigenschaften der Epoxydharze weitgehend von der Art der zur Härtung angewandten Katalysatoren abhängig sind.

F88 und Justi Resin-Cement gehören einer anderen Gruppe von Kunststoffen an. Man zählt sie zu den füllstoffhaltigen Autopolymerisaten, hauptsächlich auf Methakrylsäurebasis. Gekennzeichnet sind diese Kunststoffe also durch den Vorgang der Polymerisation, der im folgenden dargestellt werden soll.

Es gibt drei chemische Verbindungstypen von Kohlenstoffatomen unter sich, die die Grundlage der organischen Chemie darstellen und für die der Chemiker folgende Symbole verwendet:



Hiervon interessiert hier nur die mittlere, die Kohlenstoff-Doppelbindung. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß zwei Kohlenstoffatome durch zwei chemische Verbindungsseihen - Valenzen - zusammengehalten werden. Diese Bindungsart ist energiereicher und reaktiver als die einfache und hat unter bestimmten aktivierenden Bedingungen (etwa Wärme, Licht oder chemische Katalysatoren) die Tendenz, in die letztere überzugehen, wobei zwei freie Valenzen entstehen:

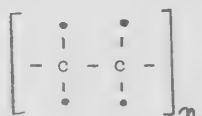


Bei diesem Vorgang wird Energie in Form von Wärme frei, und in unmittelbarer Folge entsteht eine neue chemische Verbindung, da Stoffe mit freien chemischen Bindungskräften nicht beständig sind. Jedes so aktivierte Molekül hat nun vorübergehend die Fähigkeit, zwei weitere Moleküle zu aktivieren, d.h. ihre Doppelbindungen zu sprengen. Die am primär aktivierten Molekül freigelegten zwei Valenzen sättigen sich sofort an je einer der von ihm an zwei anderen Molekülen gesprengten Valenzen ab, und damit ist eine neue chemische Verbindung aus drei ursprünglichen Molekülen entstanden, die ihrerseits noch über zwei freie Valenzen verfügt:



Durch die beiden freien Valenzen ist die Verbindung unbeständig und in der Lage, an zwei weiteren Grundmolekülen die Doppelbindungen zu sprengen und unter gleichem Vorgangsablauf in chemische Verbindung zu treten. So entsteht eine neue chemische Verbindung aus fünf Grundmolekülen und wiederum zwei freien Valenzen. Wegen der immer wieder entstehenden freien Valenzen kann sich dieser Vorgang nun

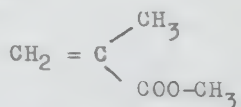
häufig wiederholen und das Ergebnis stellt ein chemisch Multiples des Grundmoleküls dar, nämlich ein Polymeres des Ausgangsstoffes, wobei die Anzahl der chemisch zusammenge-
schlossenen Grundmoleküle als Polymerisationsgrad bezeichnet wird:



Polymerisat. Hier Valenzen abgesättigt.

Jede Polymerisation ist demnach eine chemische Reaktion einfacher Grundmoleküle, die in jedem Molekül mindestens eine Doppelbindung enthalten. Unter Lösung der Doppelbindungen schließen sich die Grundmoleküle mit Bildung unterschiedlich langer Molekülketten zu neuen chemischen Verbindungen, sog. Makromolekülen, zusammen, wobei sich das Molekulargewicht nach Maßgabe des Polymerisationsgrades vermehrt. Doch ist der Grund der verschiedenen langen Kettenbildung und des Abbruchs des Kettenwachstums, der stets mit einer Valenzabsättigung verbunden ist, noch nicht völlig geklärt.

Solche Kettenreaktionen zugängliche Grundmoleküle werden als die Monomeren bezeichnet. Im Falle der vorliegenden Stoffe handelt es sich dabei um Methakrylsäuremethylester von der Formel:



Sie werden schon lange in der Zahnheilkunde verwendet. Die Ausgangsmaterialien für diese Kunststoffe, die auch als Plexiglas bezeichnet werden, sind Wasser, Kohle und Kalk. Würde man nun aber nur das flüssige Monomere auspolymerisieren, wäre eine sehr große Volumenschrumpfung die Folge, die eine Verwendung praktisch unmöglich machen würde. Um dies zu verhindern, kam man auf den Ausweg, fertiges Poly-

mer direkt bei der Anwendung der Kunststoffe in Praxis oder Labor mit Monomer vermischen zu lassen. Dieses Polymer liefert die Industrie in Form von Perlpolymerisat-Granulaten oder Blockpolymerisat-Splittern. Erstere werden nach dem Suspensionsverfahren hergestellt dadurch, daß das Monomere suspendiert in einer Flüssigkeit zur Polymerisation gebracht wird. Dabei wandeln sich die ehemaligen Tröpfchen des Monomeren in meist glatte und glasige Kügelchen unterschiedlicher Größe um, die aus dem Polymer bestehen und in ihrer Gesamtheit als feinsandiges Pulver erscheinen. Die Monomeren können aber auch als Reinsubstanz polymerisieren. Dabei entstehen glasig-schaumige Blöcke, welche mit besonderen Maschinen zu feinen Splittern zermahlen werden. H a e f e l i (7) schreibt dazu: "Auffallend ist im Vergleich zu den Perlpolymerisaten die große Oberfläche der Blockpolymerisat-Splitter. Viel wesentlicher ist aber das vollständige Fehlen von Luft- und Wassereinschlüssen." "Die - allerdings schwer herstellbaren - Blockpolymerisatpulver sind somit den Perlpolymerisaten wesentlich überlegen." "Die Festigkeit der Perlpolymerisat-Formkörper stellte sich als beträchtlich unterlegen heraus."

Infolge der Quellbarkeit und Löslichkeit des Polymerisatpulvers im Monomeren dringen nun beim "Anteigen" Flüssigkeitsmoleküle zumindest oberflächlich in die Körner ein und lagern sich zwischen oder teils direkt an die Fadenmoleküle des Polymers an. Bei Auslösung der Polymerisation entstehen ebenfalls Fadenmoleküle, die sich mit den in den Pulverkörnern schon vorhandenen eng verflechten und den Zwischenraum ausfüllen. D r i a k (3) schreibt: "Bei den selbsthartenden (autopolymerisierenden, schnellhartenden) Kunststoffen übernehmen sogenannte Katalysatoren (organische Peroxyde) und Akzeleratoren (tertiäre Amine) die Beschleunigung des Polymerisationsvorganges." Hierbei entstehen Makromoleküle in kettenförmiger Anordnung, die sich untereinander binden können, so daß eine Art molekulare Vernetzung eintritt. Man vergleicht die Molekülanordnung

mit einer Wattebauchstruktur. Neben den primären Bindungskräften sollen noch sekundäre oder van der Waalsche Kräfte (Dipolwirkung) zwischen den Mikromolekülen wirksam sein..

Nicht nur ein verschiedener Polymerisationsgrad, sondern vor allem auch Art und Menge der mineralischen Füllstoffe bestimmen die Eigenschaften von Kunststoffzementen dieses chemischen Aufbaues und lassen sie von den anderen Autopolymerisaten unterscheiden, wie es auch P a f f e n - b a r g e r (15) darstellt.

Tenet ist ein Phosphatzement. Das Pulver dieser Zemente besteht in der Hauptsache aus geglühtem Zinkoxyd (75-98%), Magnesiumoxyd (7-15%) und geringen Mengen Siliziumoxyd, Aluminiumoxyd. Die Färbung der Pulver wird durch Metalloxyde, Braunstein oder auch Ocker erzielt. Die Flüssigkeit besteht in der Hauptsache aus Orthophosphorsäure, geringen Mengen von Aluminium und bei manchen Flüssigkeiten auch von Zinkoxyd. (W a n n e n m a c h e r 24). Das zur Herstellung von Zahnzementen benutzte Zinkoxyd muß vor der Verwendung stark geglüht werden, um seine Reaktionsfähigkeit herabzusetzen, da es sonst mit der Phosphorsäure unter starker Wärmeentwicklung so schnell abbinden würde, daß man es nicht verarbeiten könnte. Diese Reaktion der Phosphorsäure mit dem Zinkoxyd bestimmt auch im wesentlichen den Reaktionsablauf bei der Abbindung der Phosphatzemente, der in allen Phasen noch nicht vollständig geklärt ist. Es steht aber mit ziemlicher Sicherheit fest, daß kristallines Phosphat gebildet wird und die Phosphorsäure, von groben Mischungsfehlern und Säureüberdosierungen abgesehen, innerhalb kurzer Zeit vollständig abgebunden ist. (W a n n e n m a c h e r 24). Nach der Erhärtung des Zementes im Munde soll durch die Einwirkung des Speichels nachträglich im Laufe der Zeit ein "Versteinerungsvorgang" ablaufen, der zur Bildung eines Oxyphosphates führt (W e i k a r t 27).

3. Praktischer Teil

Sachmethodik

mechanische Verankerung - Haftfestigkeit - Adhasion

Die vorliegende Arbeit dient der Bestimmung der Haftfestigkeit (-intensität) der angegebenen Zemente bzw. Kleber.

Sehr verschiedene Ansichten findet man nun in der Literatur über den Begriff der Haftintensität:

Zunächst sei die Ansicht von H a t t e m e r und K ü b e l (9) wiedergegeben: "Das Wort Adhasion, das für die Wirkung der molekularen Kräfte voneinander verschiedener Stoffe allgemein üblich ist, durch ein anderes, schlecht gebildetes, halb deutsches, halb fremdes Wort "Haftintensität" zu ersetzen, dürfte sich nicht empfehlen." W e i k a r t (26) lehnt diese Meinung, die Haftintensität sei ein (wenn auch schlechtes) Ersatzwort für Adhäsion, ab. "Physikalisch gesehen würden also beide Ausdrücke denselben Kräftekomplex bezeichnen, nämlich die anziehenden Molekularkräfte, die den Zusammenhalt der Moleküle der Teilchen verschiedener Körper bewirken." Weikart glaubt, daß eine Adhasion, z.B. beim Phosphatzement, so lange wirksam ist, bis der Abbindevorgang die Säure restlos gebunden hat (Aufhören der Klebrigkeit) und meint: "Die Erfahrungen der Praxis sprechen für das Vorherrschen der mechanischen Verankerung." F a l k (5) vertritt dieselbe Auffassung. I d o l s k i (11) gibt nach Meinung Weikarts die dritte denkbare Möglichkeit einer Ursache für die Haftwirkung an, indem sie diese hauptsächlich für eine chemisch bedingte Kittwirkung hält. Idolski zufolge dringt die im weichen Zinkphosphatzement vorhandene Phosphorsäure in das Dentin ein. Hier finden chemische Umsetzungen statt, deren Endprodukt chemische Zwischenkörper sind. Diese Zwischenkörper faßt sie als Kittsubstanz auf. D r u m (4) schreibt: "Die Haftintensität ist bekanntlich von zwei verschiedenen Faktoren abhängig. Erstens von der Fähigkeit des weichen Zementes, in die feinsten Vertiefungen des

Körpers einzudringen, an dem es haften soll. Zweitens aber auch von den oberflächenaktiven Kräften, die ein interessantes Problem der modernen physikalischen Chemie bilden. Diese oberflächenaktiven Kräfte sind verschieden stark je nach der Substanz, mit der das Zement in Berührung kommt." L o c k o w a n d t und S t ü b e n (13) vertreten die Meinung, daß es physikalisch gesehen nicht ganz richtig sei, wie Weikart die Adhäsion nur noch den plastischen Zementen zuzusprechen. Doch sei die Adhäsion der abgebundenen Zemente äußerst gering. "Deshalb sind hier zur Vereinfachung der Darstellung die mechanische Verankerung und die in den Versuchen mitgemessene, aber wohl wegen ihrer Kleinheit ganz zu vernachlässigende Adhäsion weiterhin unter dem Begriff "Haftintensität" zusammengefaßt worden." H a h n (8) neigt der Ansicht von Falk und Weikart zu: "Der frisch angemischte, dünne Zementbrei dagegen wirkt als benetzende Flüssigkeit auf die Unterlage. Hierbei treten zweifellos zunächst Adhasionskräfte auf. Bei der Erhärtung wird die Flüssigkeit gebunden und alle Zemente unterliegen dabei einer Kontraktion. Hierdurch dürfte die Adhäsion zum großen Teil, evt. ganz, aufgehoben werden." Der Autor sieht den Beweis darin, daß ein Phosphatzementtropfen auf glatter Glasfläche nach dem Erhärten keine Haftung mehr zeigt. Er meint im übrigen, daß, wenn ein Zement an rauen Flächen haften bleibt, in den feinen Rauigkeiten Adhasionskräfte bestehen bleiben können, was sich jedoch nicht nachweisen ließe. R a w i t z e r (17) äußert: "Ein Material, das sich zusammenzieht, kann niemals auf einer Unterlage haften bleiben, die sich nicht in gleichem Maße kontrahiert. Kontraktion und Adhäsion müssen sich also ausschließen und sei die Kontraktion noch so klein."

Die Meinungen der meisten Autoren des zahnärztlichen Schrifttums gehen also hauptsächlich dahin, daß die Adhäsion für die Haftfestigkeit eines Zementes und besonders

des Phosphatzementes, nur eine sehr geringe Rolle spielt gegenüber der vorherrschenden Kraft der mechanischen Verankerung.

In seinem Kapitel über "Epoxydharzklebemittel" äußert Paquin (16), daß man dem durch die Aufrauhung der Oberfläche erzielten Vorteil eine zu große Bedeutung beimesse. Die Adhasion und Bindung von Gasen oder Dämpfen durch die infolge der Aufrauhung vergrößerte (Metall-) Oberfläche führe zuweilen sogar zu einer erheblichen Einbuße an Haftfestigkeit. "Daher führen überraschenderweise in manchen Fällen Verleimungen glatter polierter Oberflächen zu Festigkeiten, die denen mit aufgerauhten Oberflächen nicht nur nicht nachstehen, sondern sie sogar übertreffen können." Weiter gibt er als Vorbedingung für jeden Kleber für nicht saugende Oberflächen die unbedingte Erfüllung der Forderung an, daß dieser beim Härten keine flüchtigen Stoffe abspaltet oder sein Volumen merklich verändert. Auch der Netzfähigkeit des Klebers mißt er entscheidende Bedeutung bei. Eine Dünnschmelze sei dafür günstig, doch dürfe auch die Oberflächenspannung nicht zu hoch sein. Dies wird dadurch erreicht, daß die chemische Beschaffenheit derart gewählt wird, daß viele polare Gruppen vorhanden sind, die sich an seiner Oberfläche konzentrieren und sowohl gute Netzung, als auch feste Haftung bewirken. Weiterhin ist das Verhalten des Klebers bei Temperaturschwankungen ausschlaggebend für die Haftfestigkeit auf Metallen, wie Paquin sagt. Da der Ausdehnungskoeffizient eines Metalles ein Vielfaches desjenigen eines Kunstharzes ist, wurde ein Kleber, der im Endzustand eine harte, unveränderliche Masse darstellt, beim Erwärmen die Ausdehnung des Metalles nicht mitmachen können und abspringen. Eine geringe Erweichungsfähigkeit des Klebers, so daß er sich beim Erwärmen auf der sich ausdehnenden Unterlage verschieben kann, ist nötig; ebenso eine gewisse innere Elastizität des Klebers beim Abkühlen, da dann nur diese wegen seiner zunehmenden Härte und Sprödigkeit bei

der Kontraktion des Metalles eine Lockerung der Verbindung verhindern kann.

Vor allem aus Letzterem kann man entnehmen, daß man hinsichtlich einiger Eigenschaften unterscheiden muß zwischen Zementen nach Art des Phosphatzementes und Klebern wie Uhu-Plus. Man wird vom Phosphatzement z.B. keine Erweichung bei Erwärmung erwarten können. Auch hinsichtlich des Zustandekommens des Haftvermögens sind die Unterschiede deutlich zu erkennen.

Neben der Auswirkung des unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Klebers und der zu vereinigenden Werkstoffe spielen bei den Zementen auf Methakrylatbasis noch andere Faktoren für die Haftfestigkeit eine Rolle. Vor allem sind die Volumenschrumpfung bei der Polymerisation und die Quellung des Kunststoffkörpers bei der Wasserabsorption (Naßlagerung) zu erwähnen.

Die Volumenschrumpfung der schnellhartenden Kunststoffe ist zum Teil eine Folge der Monomerverdampfung an der Oberfläche des polymerisierenden Körpers, wie L o c k o - w a n d t und S t ü b e n (14) nachgewiesen haben. Daneben sind auch die Dauer der Polymerisation und die Wärmeentwicklung während der Polymerisation für das Ausmaß der Schrumpfung von Bedeutung.

Das aufgenommene Wasser bei der Quellung der Klebstoffmasse verteilt sich nach S a n t o r i k (19) folgendermaßen: a) Ausfüllen der Poren, b) Ersatz des herausgelösten Monomers und c) eigentliche Quellung. Es ist zu bedenken, daß abwechselndes Austrocknen und Befeuchten die Beanspruchung des Klebers durch solche Einflüsse weiter vergrößern würde.

Die Messung der Haftintensität

Will man die Haftfestigkeit von Zementen bestimmen, so wird man sich zunächst folgendes überlegen müssen:

1.) an welchen Werkstoffen bzw. Versuchskörpern soll diese Haftintensität gemessen werden und 2.) welche Abzugsvorrichtung ist die zweckmäßigste?

In der Literatur sind auch hier über die Meinungen sehr geteilt. Da in dieser Arbeit nur die technische Anwendung von Klebern interessiert, entfällt allerdings die im Schrifttum bei Haftfestigkeitsprüfungen häufig gestellte Frage, ob es sinnvoller sei, an biologischem Material, wo ebenfalls Zemente zur Anwendung kommen (etwa Dentin, Schmelz), oder an körperfremden Stoffen die Versuche vorzunehmen (große Streuungen bei den Versuchswerten mit Haftflächen aus Dentin und Schmelz). Das Studium dieser Literatur zeigt jedoch die wesentlichen Gedankengänge auf: Einmal sollen die Versuche möglichst wirklichkeitsgetreu (praxisnah) durchgeführt werden, zum anderen sollen sie auch möglichst reproduzierbar sein. Die in dieser Arbeit benutzten Werkstoffe dürften diesen Forderungen weitgehend entsprechen. Denn die in der Praxis verwendeten Kunststoff-facetten- oder Kronen (Methakrylsäuremethylester) werden bei diesen Versuchen dargestellt durch Plexiglasstäbe (ebenfalls Methakrylatbasis), die Porzellanfacetten- oder Kronen durch Glasstäbe, das Edelmetall zahnärztlicher Ersatzstücke durch Messingstäbe.

Eine Vielzahl von Abzugsvorrichtungen oder Zerreißmaschinen wird in der Literatur beschrieben. Meist handelt es sich hierbei um selbstgebaute Apparate, bei denen häufig an einem Prüfkörperende ein verschiedenes Gewicht befestigt werden konnte. Nun wurde das Gewicht so lange erhöht, bis die Probe auseinanderriß. Statt dieser Gewichte wurde auch ein Behälter angehängt, der allmählich mit Wasser oder Schrotkörnern gefüllt wurde (z.B. B ü t t n e r (2), J ä n i c k e (12), H ö x b r ö e (10), B a r t r a m und F i s c h e r (1)). Andere, wie R u f f (18) und W e i -

n e r (28) benutzten eine industriell hergestellte Zerreißmaschine. Letztere verdient meines Erachtens den Vorzug. Garantiert sie doch neben einer großen Genauigkeit eine wirklich gleichmäßige Steigerung der Belastung und eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Um eine Standardisierung von Versuchsanordnungen und allgemein geltende Prüfungsvorschriften haben sich vor allem W e i - k a r t (25) und D r u m (4) bemüht. Hier ist der Entwurf Weikarts zu einem "DIN-Normblatt für zahnärztliche Werkstoffe" zu erwähnen.

Für meine Versuche benutzte ich die Zugprüfmaschine "Testatron" der Firma Wolpert. Diese Präzisionsmaschine, die in der Materialprüfanstalt der technischen Hochschule in Darmstadt aufgestellt ist und mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurde, mißt die Kraft nach einem induktiven Meßprinzip. Nach den Angaben des Herstellers wird hierzu ein Wegaufnehmer verwendet, dessen maximaler Weg 0,2 mm beträgt. Dieser Aufnehmer wird in einen Bügel zentrisch eingebaut und mißt dessen unter der Belastung auftretende Durchbiegung. Die beiden in dem induktiven Wegaufnehmer befindlichen Spulen bilden nun zwei in je einem Ast einer Wheatestone'schen Brücke sitzenden Widerstände. Ein anderer Ast ist ein Drehpotentiometer, dessen Achse mit einem Elektromotor verbunden ist. Diese Brücke hat die Spannung Null, wenn alle Widerstände abgeglichen sind. Man spricht dann von dem Gleichgewicht der Brücke. Wird nun einer der beiden Widerstände in den oberen Ästen der Brücke verändert, so tritt an den beiden Knotenpunkten der Brücke eine Spannungsdifferenz auf, die wohl nur einige Millivolt betragen kann, aber unter Verwendung eines Verstärkers ausreicht, um den mit dem Drehpotentiometer verbundenen Motor anzutreiben und das Drehpotentiometer so lange zu verstellen, bis die Brücke wieder im Gleichgewicht ist. Mit dem Motor bzw. Potentiometer ist gleichzeitig der Hauptzeiger des Anzeigegerätes verbunden. Dadurch ergibt sich eine außerordentlich exakte Messung.

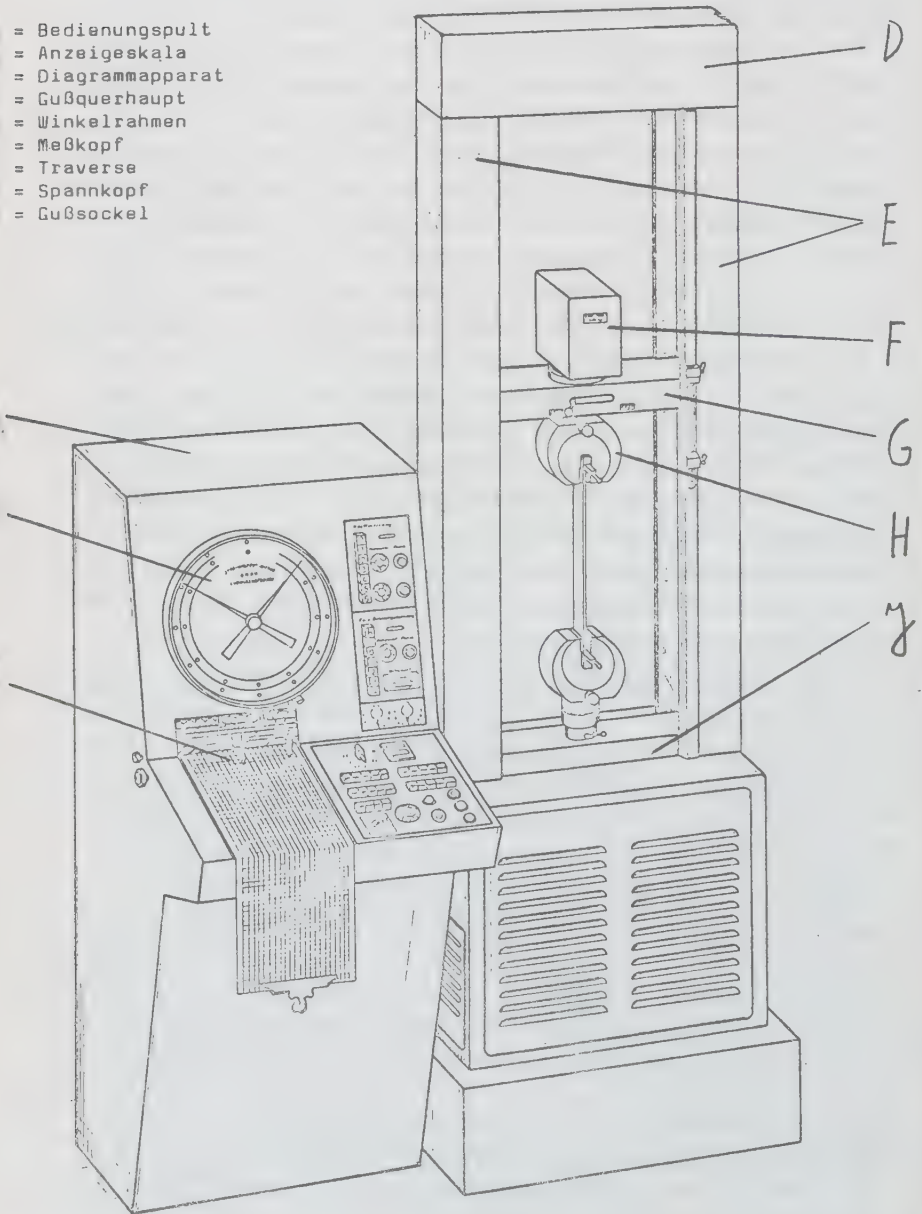
Die Zugprüfmaschine "Testatron" besteht aus Bedienungspult und Maschinenständer. Am Bedienungspult sind sämtliche zur Bedienung notwendigen Druckknöpfe und Regeleinheiten, sowie die Anzeige- und eine Registriereinrichtung untergebracht. Die Maschine ist sehr vielseitig und bietet z.B. auch die Möglichkeit von komplizierten Dehnversuchen. Deshalb möchte ich hier nur auf den für meine Versuche wichtigen Regelknopf der Abzugsgeschwindigkeit zu sprechen kommen. Über ein eingebautes Potentiometer läßt sie sich hiermit in weiten Grenzen regeln, wobei die eingestellten Werte an dem daneben angebrachten Anzeigeinstrument abgelesen werden können. Für meine Versuche wählte ich immer eine Abzugsgeschwindigkeit von 20 mm/min. Die Anzeigeskala ist bei der Maschine sehr groß ausgebildet und gestattet bei einer Verwendung von 500 Teilstrichen ein genaues Ablesen der Werte. Neben dem Hauptzeiger ist ein großer Schleppzeiger vorhanden. Dieser bleibt in der erreichten Stellung stehen und gibt die maximale Prüfkraft an. Mit den Knöpfen "Auf", "Halt", "Ab" läßt sich die Maschine mit Motorkraft steuern.

Der Maschinenständer besteht aus einem kräftigen Winkelrahmen, Gußsockel und Gußquerhaupt, sowie einer Traverse aus Stahlguß. Die beiden Präzisionsgewindespindeln treiben die Traverse so an, daß der Zerreißversuch von unten nach oben erfolgt. Auf der Traverse werden die verschiedenen Meßköpfe für die entsprechenden Meßbereiche aufgesetzt, dabei liegt der gesamte Meßbereichsumfang zwischen 20p und 10000 kp. Es ist zweckmäßig, die Maschine dem nach Vorversuchen ermittelten, jeweils zu erwartenden Meßbereich anzupassen (Genauigkeit in jedem Meßbereich ab $1/10$ des jeweiligen Höchstwertes $\pm 1\%$). Die beiden Spannköpfe sind gelenkig angebracht. So wird ein Verkanten verhindert.

Der Prüfvorgang gestaltet sich folgendermaßen: Zunächst erfolgt die Wahl des geeigneten Meßbereiches, wozu Vorversuche notwendig sind. Dann wird die Traverse in eine Höhe gefahren, die ein optimales Einspannen der Prüfkörper

Abb. 1: Wolpert-Zugprüfmaschine
TESTATRON

- = Bedienungspult
- = Anzeigeskala
- = Diagrammapparat
- = Gußquerhaupt
- = Winkelrahmen
- = Meßkopf
- = Traverse
- = Spannkopf
- = Gußsockel



OTTO-WOLPERT-WERKE	gez.	Datum
G. m. b. H.	Schumann	4.3.53
Ludwigshafen/Rhein	A 2 545 1-20	

gewährleistet. Die Kraftanzeige wird auf den Nullpunkt eingestellt und der Schleppzeiger, der später die maximale Prüfkraft anzeigen soll, bis zur Anlage am Hauptzeiger gedreht. Dann wird die Abzugsgeschwindigkeit eingestellt (20 mm/min), und der Prüfkörper wird eingespannt. Nun wird der Motor eingeschaltet. Dieser bewegt die Traverse nach oben, bis nach Erreichen der Belastungsgrenze der Bruch des Prüfkörpers eingetreten ist. Der Schleppzeiger gestattet nun das Ablesen der maximalen Prüfkraft.

Zur Bestimmung der Haftfestigkeit wurde unterschieden in:

- a) Zerreißfestigkeit
- b) Scherfestigkeit

des Zementes bzw. Klebers. Die Prüfkörper bestanden aus den erwähnten Materialien Metall (Messing), Kunststoff (Plexiglas), und Glas. Sie wurden also derart hergestellt und die Versuchsanordnung so gewählt, daß einmal die Verbindung nur auf Zug (a) und für eine andere Versuchsreihe nur auf Scherung (b) beansprucht wurde. Die Prüfung der Zerreißfestigkeit erfolgte dabei mit Rundstäben (Länge: 50 mm, Durchmesser 10 mm), die Prüfung der Scherfestigkeit mit rechteckigen Stäben (Messing: 50 X 10 x3, Plexiglas: 50 X 10 X 3 bzw. 10 X 10 X 3)

Nun erfolgte eine Kombination der Materialien bzw. Stäbe bei der Herstellung der Prüfkörper wie folgt:

- a) Metall - Glas
- b) Metall - Kunststoff
- c) Kunststoff - Kunststoff

Die Stellen der Stäbe, die miteinander verklebt wurden, sind vorher gleichmäßig durch ein Sandstrahlgebläse angestrahlt worden. So sollte eine gleiche Rauigkeit der zu verbindenden Oberflächen sichergestellt werden. Diese wurden anschließend noch mit Petroläther gereinigt.

Beim Anmischen der Zemente bzw. Kleber ging ich nach den von den Herstellern angegebenen Gebrauchsanweisungen vor. Einmal sind sie zur Erzielung optimaler Ergebnisse ge-

dacht, zum anderen erfolgt hiernach auch die Anwendung in der Praxis. Orientierende Vorversuche führte ich durch zur Erlernung der jeweiligen Anmischtechnik und um mich mit den Eigenschaften der Kleber vertraut zu machen.

Folgende Anmischtechnik wird für die einzelnen Zemente bzw. Kleber angegeben:

Beim Tenet (A) ist eine trockene, dicke und gekühlte Anrührplatte unbedingt erforderlich. Ein langes Verarbeitungsintervall wird erreicht, wenn das Pulver mit der Flüssigkeit sehr langsam in kleinen Portionen vermischt und die Masse während des Anmischens immer wieder auf der Glasplatte weit ausgestrichen wird, sodaß eine gute Ableitung der Reaktionswärme ermöglicht wird. Die richtige Konsistenz für Zementierungen ist erreicht, wenn eine kleine Menge des angerührten Zementes (apfelkerngroß) gerade nicht mehr vom Spatel tropft.

Auch beim F88 (B) ist die Verwendung einer gekühlten Zementanrührplatte und Flüssigkeit (Temperatur höchstens 20° C) wichtig. Die Kühlung erhöht die Anrührzeit. Man breitet zunächst genügend Pulver auf der Glasplatte aus und gibt nun tropfenweise Flüssigkeit darauf, bis das ganze Pulver gesättigt ist. Es muß ein Überschuß an Flüssigkeit vorhanden sein. Nun soll kurze Zeit gespatelt werden, bis eine dünne, sahnartige Konsistenz erreicht ist. Die Verwendung bzw. das Aufbringen der Masse soll nur solange erfolgen, wie diese noch dünnflüssig ist.

Beim Justi Resin-Cement (C) bringt man zunächst 7 Tropfen Flüssigkeit in ein Dappenglas und gibt aus dem beiliegenden Maß eine Portion Pulver zu. Dann bewegt man das Ganze kurz mit dem Spatel und schreitet sofort zur Verwendung. Zeigt die Mischung eine gummiartige Konsistenz, dann ist das Material bereits nicht mehr verarbeitungsfähig.

Beim Uhu-Plus (D) verwendet man gleichlange Stränge aus den beiden Tuben. Im Zweifelsfalle soll immer etwas mehr Binder als Harter genommen werden. Die beiden Komponenten werden auf einer sauberen und trockenen Unterlage wie Pappe,

Holz oder Glas mit Holzstäbchen oder Spatel intensiv vermengt, bis das Gemisch eine gleichmäßige Farbe zeigt. Dann wird der Klebstoff auf die zu verklebenden Oberflächen dünn aufgetragen, und diese werden zusammengefügt.

Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte folgendermaßen: Zur Prüfung der Zerreißfestigkeit wurden die Rundstäbe entsprechend den einzelnen Werkstoffkombinationen genau senkrecht zueinander mittels der verschiedenen Kleber zusammengefügt.

Zur Prüfung der Scherfestigkeit wurde wegen der zu geringen Werte auf eine Kombination Metall/Glas verzichtet. Bei der Werkstoffkombination Metall/Kunststoff wurden die Messingstäbchen mit den Plexiglasstäbchen (10 x 10 x 3) verklebt. Bei der Werkstoffkombination Kunststoff/Kunststoff hatte es sich in Vorversuchen gezeigt, daß die Kunststoffstäbchen (50 x 10 x 3) in der Mitte durchbrachen, weshalb sie durch stärkere (50 x 30 x 10) ersetzt wurden. Diese wurden dann mit den kleinen Stäbchen (10 x 10 x 3) verklebt. Die folgende Abbildung 2 zeigt die 3 Formen der Prüfkörper, außerdem noch die Versuchsanordnung für die Scherfestigkeitsprüfung.

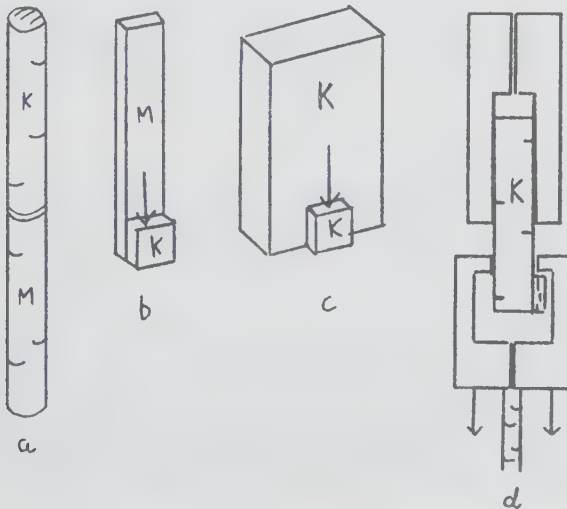


Abb. 2: a) Prüfkörper zur Messung der Zerreißfestigkeit
b) + c) Prüfkörper zur Messung der Scherfestigkeit
d) Prüfkörper c) eingespannt
M = Metall, K = Kunststoff.

Der beim Zusammenfügen der Stäbchen auftretende Überschuß an Zement- bzw. Klebstoffmasse wurde, soweit möglich, sofort entfernt, anderenfalls nach der Härtung mit einem kleinen Rosenbohrer beseitigt.

Auf die beschriebene Weise wurden für jeden Kleber und jede Kombination 20 Prüfkörper hergestellt. Davon wurde die Hälfte nach 10 Tagen Trockenlagerung den Haftfestigkeitsprüfungen unterworfen. Die andere Hälfte wurde erst nach 16 Monaten Naßlagerung geprüft. Durch ihre Aufbewahrung in Leitungswasser während dieser Zeit sollte der Einfluß einer feuchten Umgebung, wie sie in der Mundhöhle ja vorliegt, auf die Klebverbindung untersucht werden. Die Beschränkung der Arbeit auf die Untersuchung der Haftfestigkeit der Kleber in Abhängigkeit von Zeit und Feuchtigkeit dürfte gerechtfertigt sein, da eine Berücksichtigung der vielen möglichen anderen Einflüsse der Mundhöhle wohl nicht befriedigend möglich ist und zu neuen Ungenauigkeiten führen würde.

Die Durchführung der Untersuchungen erfolgte nun folgendermaßen, daß bei den Zerreißfestigkeitsprüfungen die Rundstäbe in einen oberen und unteren Einspannkopf eingeklemmt und auseinandergerissen wurden. Bei den Scherfestigkeitsprüfungen wurde der längere Teil des Prüfkörpers in der Maschine oben eingespannt und der kleinere Teil mit einer entsprechenden Vorrichtung abgedrückt (s. Abb. 2).

Statistische Methodik

Der Sinn statistischer Auswertung liegt darin, sich ein begründetes Urteil über die in den Meßwerten enthaltenen Informationen bilden zu können, d.h. Fehlrteile vermeiden zu helfen.

Die wesentlichen Züge der Überlegung bei statistischer Bearbeitung von Versuchsergebnissen sind folgende: Zunächst wird eine Hypothese formuliert, die besagt, daß die in den Versuchsergebnissen auftretenden Unterschiede nur durch den Zufall bedingt und nicht die Folge echter Unterschiede

etwa zu testender verschiedener Versuchsmaterialien sind (im statistischen Sprachgebrauch "Nullhypothese"). Zwischen den Zementen z.B. wäre dann also der Unterschied hinsichtlich der Haftfestigkeit Null, d.h. sie wären gleichwertig. Dieser Annahme wird eine Alternative gegenübergestellt, die die auftretenden Unterschiede, etwa bei den Zementen, als echt ansieht und nicht als zufallsbedingt. Nun werden die einzelnen Versuchsergebnisse immer mehr oder weniger von dem unter der Nullhypothese im Durchschnitt zu erwartenden Ergebnis abweichen. Es läßt sich die Wahrscheinlichkeit dafür angeben, daß man die Nullhypothese ablehnt, obwohl sie zutrifft. Diese Wahrscheinlichkeit wird Irrtumswahrscheinlichkeit genannt. In der vorliegenden Arbeit wird die Nullhypothese verworfen, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit höchstens 1 % beträgt ($P \leq 1\%$). Die Unterschiede sind dann "signifikant" oder "statistisch gesichert" oder "wesentlich". Wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit zwischen 1 und 5 % beträgt ($1\% \leq P \leq 5\%$), wird ein Ergebnis statistisch auffällig genannt.

Drei Faktoren sind es, die sich wechselseitig beeinflussen können und über die Größe der einzelnen Testergebnisse entscheiden, nämlich Zement (Kleber), Werkstoff und Lagerung. Mit Hilfe der 3-fachen Varianzanalyse und durch sog. orthogonale Vergleiche wurde nun ermittelt, ob zwischen diesen Faktoren, d.h. zwischen den Mittelwerten der Kleber, der Werkstoffe und Lagerungen Unterschiede bestehen. Zur Zerlegung nach den einzelnen Variationsursachen, wie sie durch die Varianzanalyse vorgenommen wird, wird die Gesamtvarianz in die Varianzen zwischen den Zementen, Werkstoffen und Lagerungen, ihre Wechselwirkungen und in die Restvarianz aufgegliedert. Diese Restvarianz beinhaltet die zahlreichen übrigen Variationsursachen, die sich nicht genau ermitteln lassen. Nun prüft man, ob die einzelnen Varianzen signifikant größer sind als die Restvarianz. Nach der Berechnung der Quotienten der mittleren Abweichungs-

quadrate folgt der Vergleich der Werte mit den nach Freiheitsgrad in Zähler und Nenner entsprechenden Werten der F-Verteilung ⁺⁾ zwischen den Variablen/MAQ-Rest und MAQ Werkstoff (Zement oder Lagerung)/MAQ Rest. Man bezeichnet den Unterschied als gesichert, wenn dieser Quotient - der gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit entsprechend - größer als ein bestimmter Wert - in unserem Fall $F_{0,01}$ ist ($P \leq 1 \%$).

Wechselwirkungen sind dadurch gekennzeichnet, daß einer der Faktoren, wie z.B. der Zement, von verschiedenen Lagerungen oder Werkstoffen unterschiedlich beeinflusst wird, seine Haftfestigkeit also zu- oder abnimmt. Auch hier läßt sich zwischen Signifikanz (Verläßlichkeit) oder Zufallsbedingtheit der Testergebnisse zahlenmäßig unterscheiden.

4. Ergebnisse

Tabellen der Meßwerte

Die einzelnen Meßergebnisse habe ich in Tabellen zusammengefaßt. Ihre Einordnung erfolgt nach den verschiedenen Zementen und den einzelnen Werkstoffkombinationen Metall/Glas, Metall/Kunststoff, Kunststoff/Kunststoff. Außerdem wurde gegliedert nach Zerreißfestigkeitsprüfung oder Scherfestigkeitsprüfung und Trocken- oder Naßlagerung. Es ist hierbei zu beachten, daß bei der Zerreißfestigkeit das Gewicht in kp pro $0,785 \text{ cm}^2$ ausgedrückt ist, da man sich die Fläche des Prüfkörpers in einem Kreis von 1 cm Durchmesser vorstellen muß, während sich die Zahlen der Scherfestigkeit auf 1 cm^2 beziehen.

⁺⁾ $MAQ = \frac{SAQ}{f}$, SAQ = Summe der Abweichungsquadrate, f = Freiheitsgrad.

Nummer d. Versuche	Zerreißfestigkeit			Scherfestigkeit
	<u>Metall</u> Glas	<u>Metall</u> Kunstst.	<u>Kunstst.</u> Kunstst.	<u>Metall</u> Kunstst.
1	2	3	4	27
2	2	3	3	17
3	3	2	2	23
4	4	1	2	30
5	3	3	2	19
6	3	2	2	16
7	4	3	3	20
8	3	2	2	26
9	3	2	3	21
10	3	2	3	18
Durchschnitts- wert	3,0	2,4	2,6	21,7

Tab.1: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von T E N E T (A)
nach 10 Tagen Trockenlagerung.

Nummer d. Versuche	Zerreißfestigkeit			Scherfestigkeit
	<u>Metall</u> Glas	<u>Metall</u> Kunstst.	<u>Kunstst.</u> Kunstst.	<u>Metall</u> Kunstst.
1	7	15	8	19
2	12	20	11	22
3	8	16	4	30
4	6	11	7	23
5	5	11	8	27
6	25	10	4	23
7	14	10	10	20
8	6	12	7	24
9	23	10	5	24
10	28	13	6	27
Durchschnitts- wert	13,4	12,8	7,0	23,9

Tab.2: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von T E N E T (A)
nach 16 Monaten Naßlagerung.

Nummer d. Versuche	Scherfestigkeit
	<u>Kunstst.</u> <u>Kunstst.</u>
1	12
2	17
3	16
4	12
5	11
6	10
7	12
8	19
9	15
10	13
Durchschnitts- wert	13,7

Tab. 3: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von T E N E T (A)
nach 10 Tagen Trockenlagerung.

Nummer d. Versuche	Scherfestigkeit
	<u>Kunstst.</u> <u>Kunstst.</u>
1	14
2	13
3	9
4	11
5	13
6	13
7	10
8	10
9	9
10	8
Durchschnitts- wert	11,0

Tab.4: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von T E N E T (A)
nach 16 Monaten Naßlagerung.

Nummer d. Versuche	Zerreißfestigkeit			Scherfestigkeit
	<u>Metall</u> Glas	<u>Metall</u> Kunstst.	<u>Kunstst.</u> Kunstst.	<u>Metall</u> Kunstst.
1	50	156	116	73
2	65	89	145	81
3	46	111	179	68
4	46	141	172	43
5	42	121	179	43
6	64	110	157	64
7	51	122	174	49
8	55	130	160	53
9	45	125	180	76
10	58	115	125	60
Durchschnitts- wert	52,2	122,0	158,7	61,0

Tab.5: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von F 8 8 (B)

nach 10 Tagen Trockenlagerung.

Nummer d. Versuche	Zerreißfestigkeit			Scherfestigkeit
	<u>Metall</u> Glas	<u>Metall</u> Kunstst.	<u>Kunstst.</u> Kunstst.	<u>Metall</u> Kunstst.
1	4	12	137	18
2	6	14	149	14
3	10	8	124	10
4	8	7	147	10
5	9	10	163	25
6	3	11	145	11
7	5	16	136	10
8	7	14	185	16
9	7	6	128	21
10	8	9	158	19
Durchschnitts- wert	6,7	10,7	147,2	15,4

Tab.6: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von F 8 8 (B)
nach 16 Monaten Naßlagerung.

Nummer d. Versuche	Zerreißfestigkeit			Scherfestigkeit
	<u>Metall</u> Glas	<u>Metall</u> Kunstst.	<u>Kunstst.</u> Kunstst.	<u>Metall</u> Kunstst.
1	85	128	235	125
2	101	207	168	100
3	58	185	212	115
4	65	157	205	119
5	57	217	250	117
6	62	148	254	127
7	73	176	225	122
8	68	145	221	140
9	76	175	211	128
10	82	182	251	126
Durchschnitts- wert	72,7	172,0	223,2	121,9

Tab.7: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von R E S I N - C E M E N T (C)

nach 10 Tagen Trockenlagerung.

Nummer d. Versuche	Zerreißfestigkeit			Scherfestigkeit
	<u>Metall</u> Glas	<u>Metall</u> Kunstst.	<u>Kunstst.</u> Kunstst.	<u>Metall</u> Kunstst.
1	2	196	170	125
2	4	237	196	61
3	1	200	160	92
4	4	216	240	68
5	6	180	227	120
6	8	197	221	60
7	4	176	182	65
8	5	220	286	136
9	5	195	179	112
10	3	220	192	87
Durchschnitts- wert	4,2	203,7	205,3	92,6

Tab.8: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von R E S I N - C E M E N T (C)
nach 16 Monaten NaBlagerung.

Nummer d. Versuche	Zerreißfestigkeit			Scherfestigkeit
	<u>Metall</u> Glas	<u>Metall</u> Kunstst.	<u>Kunstst.</u> Kunstst.	<u>Metall</u> Kunstst.
1	116	54	68	71
2	158	96	56	80
3	180	56	52	84
4	152	83	48	83
5	141	64	73	77
6	114	51	60	57
7	134	55	85	63
8	123	84	66	64
9	136	97	85	94
10	129	90	72	78
Durchschnitts- wert	138,3	73,0	66,5	75,1

Tab.9: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von U H U - P L U S (D)

nach 10 Tagen Trockenlagerung.

Nummer d. Versuche	Zerreißfestigkeit			Scherfestigkeit
	<u>Metall</u> Glas	<u>Metall</u> Kunstst.	<u>Kunstst.</u> Kunstst.	<u>Metall</u> Kunstst.
1	14	49	66	36
2	35	56	96	62
3	15	38	46	39
4	24	32	88	56
5	27	38	60	40
6	13	62	40	90
7	26	45	62	52
8	21	51	84	62
9	27	42	75	65
10	21	47	63	57
Durchschnitts- wert	22,3	46,0	68,0	55,9

Tab.10: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von U H U - P L U S (D)
nach 16 Monaten Naßlagerung.

Nummer d. Versuche	Scherfestigkeit
	<u>Kunstst.</u> <u>Kunstst.</u>
1	50
2	49
3	53
4	48
5	52
6	53
7	59
8	54
9	55
10	57
Durchschnitts- wert	53,0

Tab.11: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von U H U - P L U S (D)

nach 10 Tagen Trockenlagerung.

Nummer d. Versuche	Scherfestigkeit
	<u>Kunstst.</u> <u>Kunstst.</u>
1	51
2	80
3	64
4	48
5	70
6	64
7	42
8	60
9	60
10	56
Durchschnitts- wert	59,5

Tab.12: Ergebnisse der Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung
von U H U - P L U S (D)

nach 16 Monaten Naßlagerung.

Bezüglich der Haftung der einzelnen Zemente (Kleber) an den verschiedenen Werkstoffen läßt sich sagen, daß mit Ausnahme von Uhu-Plus die schwachste Haftung jeweils an den Glasstäben auftrat. Demzufolge haftete der Kleber bei der Kombination Metall/Glas nach dem Zerreißversuch gewöhnlich am Metall. Bei der Werkstoffkombination Metall/Kunststoff zeigten sich nach der Trennung der Verbindung meist Kleberreste an beiden Werkstoffteilen in jeweils stark unterschiedlicher Menge. Es ist hier bei der guten Wärmeleitfähigkeit des Metalles an eine Beeinflussung der Polymerisation bei den Kunststoffklebern sowie der Abbindung beim Phosphatzement zu denken. Dennoch deutet die fast allgemein, vor allem bei den Kunststoffzementen größere Haftkraft bei der Kombination Kunststoff/Kunststoff darauf hin, daß zumal bei diesen Zementen die Haftung am Kunststoff die bessere ist. Hier spielt die chemische Verwandtschaft auf Methakrylatbasis sicher eine Rolle.

Ich möchte hier auch Versuche erwähnen, die zur Bestimmung der Scherfestigkeit der Kunststoffzemente bei der Kombination Kunststoff/Kunststoff vorgenommen wurden. Entsprechende Werte liegen für Tenet und Uhu-Plus in den Tabellen vor. F88 und vor allem Justi Resin-Cement zeigten jedoch eine solche Klebkraft, daß sich die Klebverbindung dem Werkstoff gegenüber als überlegen erwies. Regelmäßig platzte beim Resin-Cement ein mit dem kleinen abgedrückten Kunststoffstäbchen verbundenes Bruchstück des größeren Prüfkörperteiles ab. Beim F88 kam es bei diesen Versuchen zu Sprüngen und Rissen im meist der Form nach noch intakten großen Prüfkörperteil, was natürlich eine Verwertung solcher Ergebnisse in vergleichenden Tabellen ebenfalls nicht zuließ. Diese Versuche sind immerhin geeignet, aufzuzeigen, daß die Haftung dieser Zemente zum Teil starker ist als die Kohäsion der Methakrylatkunststoffe, von denen sie abstammen.

Zum besseren Vergleich der angegebenen Werte sollen nun einige graphische Darstellungen dienen. Sie geben einen

Überblick über die verschieden starke Haftintensität und Streuung der einzelnen Zemente. Die Buchstaben an der Abszisse bedeuten: A = Tenet, B = F88, C = Justi Resin-Cement, D = Uhu-Plus. Die Ordinate gibt die Abreißkraft in kp an. Die Höhen der Säulen entsprechen den Durchschnittswerten. Spannweite (Differenz zw. größtem und kleinstem Einzelwert) als Strecke eingetragen.

Zerreißfestigkeit der Kombination Metall/Glas bei den

Zementen A bis D ⁺⁾

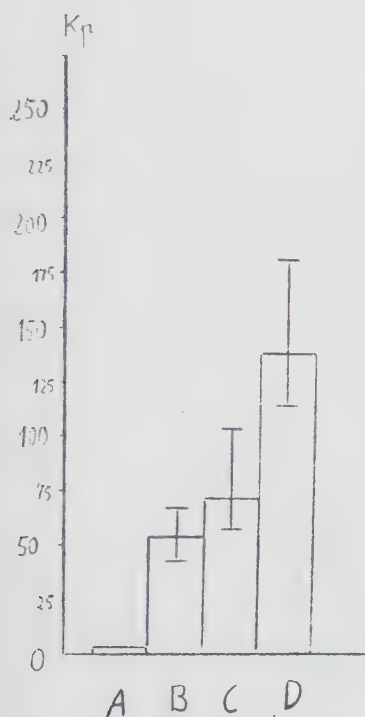


Abb. 3: Nach 10 Tagen
Trockenlagerung

⁺⁾ Zeichenerkl. s.S. 32

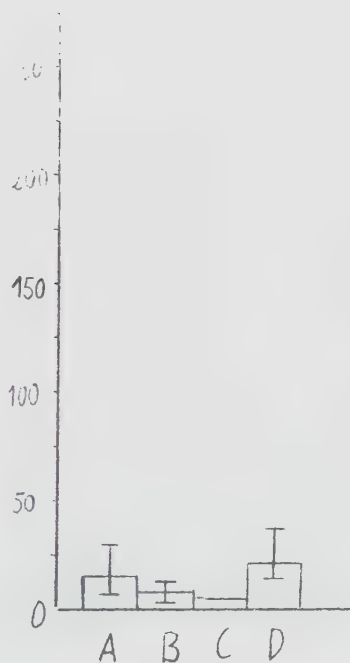


Abb. 4: Nach 16 Monaten
Naßlagerung

Zerreißfestigkeit der Kombination Metall/Kunststoff
bei den
Zementen A bis D⁺⁾

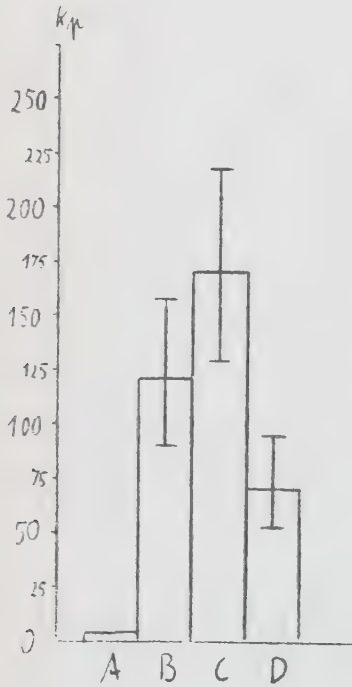


Abb. 5: Nach 10 Tagen
Trockenlagerung

⁺⁾ Zeichenerkl. s.S. 32

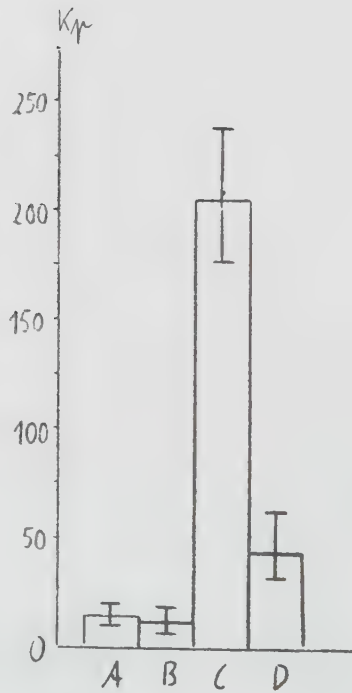


Abb. 6: Nach 16 Monaten
Naßlagerung

- Zerreißfestigkeit der Kombination Kunststoff/Kunststoff
bei den
Zementen A bis D⁺⁾

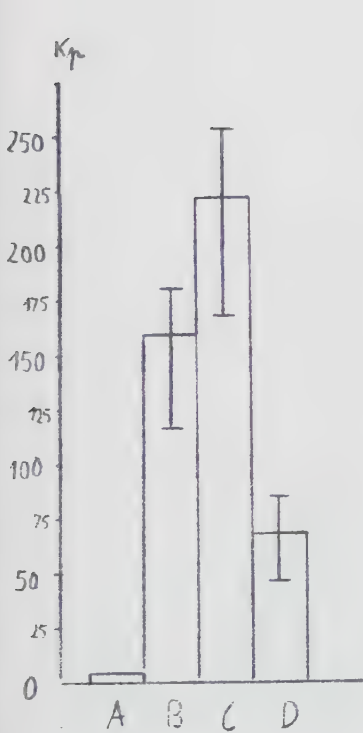


Abb. 7: Nach 10 Tagen
Trockenlagerung

⁺⁾ Zeichenerkl. s.S. 32

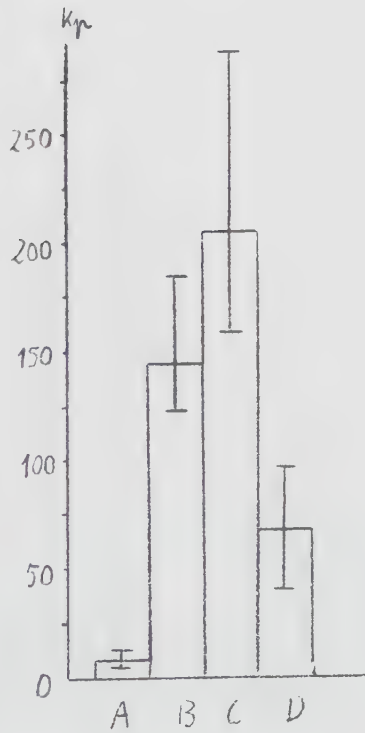


Abb. 8: Nach 16 Monaten
NaClagerung

Scherfestigkeit der Kombination Metall/Kunststoff
bei den
Zementen A bis D +)

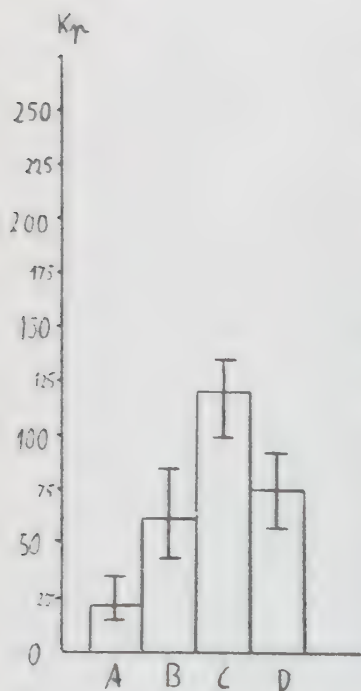


Abb. 9: Nach 10 Tagen
Trockenlagerung

+) Zeichenerkl. s. S. 32

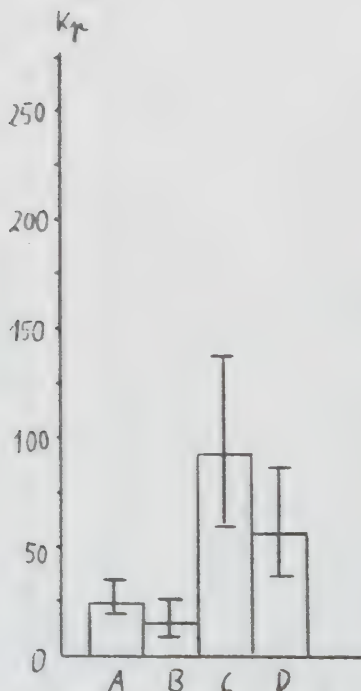


Abb. 10: Nach 16 Monaten
Naßlagerung

Scherfestigkeit der Kombination Kunststoff/Kunststoff
bei den
Zementen A und D⁺⁾

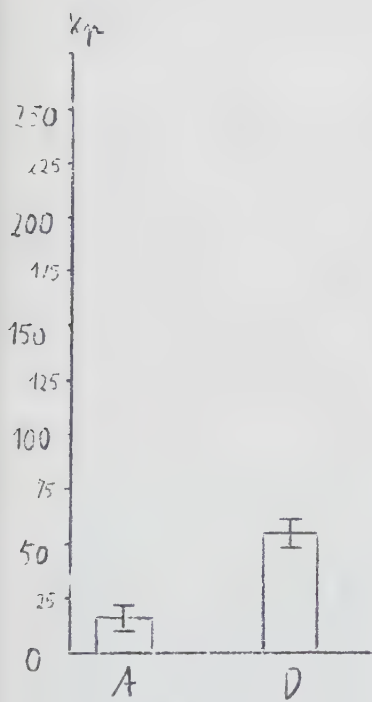


Abb. 11: Nach 10 Tagen
Trockenlagerung

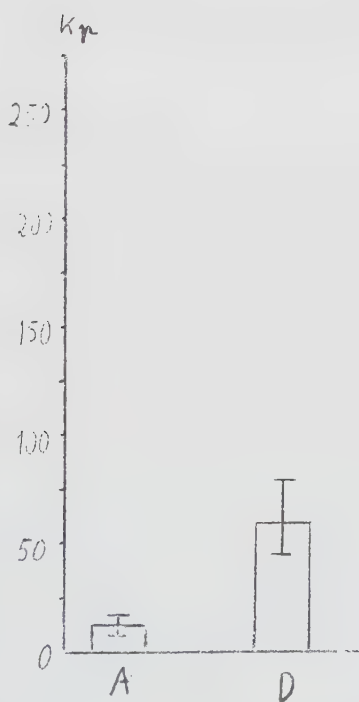


Abb. 12: Nach 16 Monaten
Naßlagerung

⁺⁾ Zeichenerkl. s.S. 32

Varianzanalyse

Die 3-fache Varianzanalyse diente der Berechnung, ob ein Unterschied besteht 1.) zwischen den Zementen (Klebern) 2.) zwischen den Werkstoffen 3.) zwischen den Lagerungen. Untersucht wurden ferner die Wechselwirkung zwischen Zement und Lagerung, Zement und Werkstoff, Werkstoff und Lagerung, zwischen Zement, Werkstoff und Lagerung, sowie die Komponente "Zwischen den Wiederholungen". Es wurden alle Versuchswerte mit Ausnahme der Scherfestigkeitswerte bei der Kombination Kunststoff/Kunststoff zur Berechnung herangezogen. Letztere deshalb nicht, da, wie bereits dargestellt, nicht bei allen Klebern brauchbare Werte zu erzielen waren. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 13 wiedergegeben:

V A R I A N Z	SAQ	f	$MAQ = \frac{SAQ}{f}$	F P
zw. d. Zementen	637822,91	3	212607,63	928,37 $P \leq 1\%$
zw. d. Werkstoffen	221237,26	3	73745,75	322,01 $P \leq 1\%$
zw. d. Lagerungen	58104,20	1	58104,20	253,71 $P \leq 1\%$
Wechselwirkung:				
Zement-Werkstoff	361066,72	9	40118,52	175,18 $P \leq 1\%$
Zement-Lagerung	41126,38	3	13708,79	59,86 $P \leq 1\%$
Werkstoff-Lagerung	24987,38	3	8329,12	36,37 $P \leq 1\%$
Zement-Werkst.-Lag.	72002,04	9	8000,22	34,93 $P \leq 1\%$
Restvarianz (= zw. d. Wdh.)	65955,00	288	229,01	—
Gesamtvarianz	1482301,89	319	—	—

Tab. 13: Ergebnisse der dreifachen Varianzanalyse

Wie die Ergebnisse der Berechnungen in Tabelle 13 zeigen, ergab die 3-fache Varianzanalyse signifikante Unterschiede ($P \leq 1\%$) zwischen den Zementen, den Werkstoffen, den Lagerungen, aber auch bei allen Wechselwirkungen.

Zwischen den Zementen (Klebern) bestehen also gesicherte Unterschiede. Um festzustellen, welche Zemente sich im einzelnen unterscheiden, wurde eine Zerlegung der Summe der Abweichungsquadrate (SAQ) in sog. orthogonale Vergleiche vorgenommen und die Unterschiede auf ihre Signifikanz überprüft. Prüfmaß ist hier ebenfalls der Quotient $F = \text{Varianz des Vergleichs} / \text{Restvarianz}$. Folgende Vergleiche sind orthogonal: siehe Tabelle 14

Vergleich	Abweichungs- quadrat	f	MAQ	F	P
$(\bar{x}_1 - \bar{x}_4)$	$\frac{1}{2k}(\bar{x}_1 - \bar{x}_4)^2$	1	131274,3	573,22 $P \leq 1\%$	
$(\bar{x}_2 - \bar{x}_3)$	$\frac{1}{2k}(\bar{x}_2 - \bar{x}_3)^2$	1	170106,8	742,79 $P \leq 1\%$	
$(\bar{x}_1 + \bar{x}_4 - (\bar{x}_2 + \bar{x}_3))$	$\frac{1}{4k}(\bar{x}_1 + \bar{x}_4 - \bar{x}_2 - \bar{x}_3)^2$	1	336441,8	1469,11 $P \leq 1\%$	
Summe		3	637822,91 = SAQ		

Tab. 14: Orthogonale Vergleiche

$\bar{x}_1$ = Tenet, $\bar{x}_2$ = F88, $\bar{x}_3$ = Resin-Cement, und

$\bar{x}_4$ = Uhu-Plus, f = Freiheitsgrad.

$\bar{x}$ = Durchschnittswert

Aus der Tabelle 14 ergibt sich, daß nicht nur zwischen Tenet und Uhu-Plus, sondern auch zwischen F88 und Resin-Cement ein gesicherter Unterschied besteht ($P \leq 1\%$). Auch beim Vergleich Tenet und Uhu-Plus gegen F88 und Resin-Cement ist ein gesicherter Unterschied festzustellen.

Auswertung durch Betrachtung der Tabellenwerte

Beim Betrachten der Tabellen (Tab. 1 u. 2) fällt bei Tenet eine Verbesserung der Zerreifestigkeitswerte vor allem bei den Kombinationen Metall/Glas und Metall/Kunststoff nach der Naßlagerung auf. Doch liegen im allgemeinen die Werte wesentlich unter denen der anderen untersuchten Elemente (Kleber), wie zu erwarten war.

F88 zeigt in den Tabellen (Tab. 5 u. 6) ein starkes Abfallen der Haftfestigkeitswerte bei den Kombinationen Metall/Glas und Metall/Kunststoff nach der Naßlagerung, während die Zerreifestigkeitswerte für die Kombination Kunststoff/Kunststoff danach nur unbedeutend zurückgegangen sind. Insgesamt gesehen haben sich die nach der Trockenlagerung aufgetretenen hohen Werte also nur bei dieser Kombination halten können.

Justi Resin-Cement zeigt bereits nach der Trockenlagerung (Tab. 7) wesentlich höhere Haftfestigkeitswerte als F88, dieser Unterschied zugunsten von Resin-Cement wird aber nach der Naßlagerung (Tab. 8) noch wesentlich größer. Zwar fallen wie bei F88 auch hier die Haftfestigkeitswerte bei der Kombination Metall/Glas nach der Naßlagerung enorm, doch kommt es danach nicht wie bei F88 zum Absinken der Werte für die Kombination Metall/Kunststoff. Die hohen Zerreifestigkeitswerte bei dieser Werkstoffkombination sind nach der Naßlagerung sogar noch etwas erhöht, während der Abfall der entsprechenden Werte für die Scherfestigkeit wohl nur als unbedeutend zu bezeichnen ist.

Uhu-Plus zeigt nach der Trockenlagerung (Tab. 9) bei der Kombination Metall/Glas eine den anderen Klebern weit überlegene Haftung, die wenig unter der Zerreißfestigkeit des Glases lag. Doch auch hier läßt die Naßlagerung (Tab. 10) diese Werte stark abfallen. Die Werte bei den anderen Werkstoffkombinationen sind im allgemeinen nicht so hoch wie bei Justi Resin-Cement und F88, zeigen aber im Gegensatz zu F88 keinen bedeutenden Abfall bei der Kombination Metall/Kunststoff nach der Naßlagerung. So ist hierbei

die Haftung von Uhu-Plus sogar der von F88 deutlich überlegen. Insgesamt gesehen fällt bei Uhu-Plus als Gegensatz zu den anderen Klebern die größere Konstanz der Ergebnisse bei Trocken- und Naßlagerung auf.

5. Diskussion und Besprechung der Ergebnisse:

Die Haftfestigkeitswerte von Tenet lagen im allgemeinen wesentlich unter denen der Kunststoffmaterialien. Dennoch waren die Werte beachtlich, zumal sie sich nach der Naßlagerung sogar noch wesentlich vergrößert haben. Danach betrugen sie im allgemeinen über 10 kg/cm^2 Haftfläche. Die günstigen Auswirkungen der Naßlagerung sind vielleicht auf eine Änderung der chemischen Struktur des Zementes während der langen Zeit zurückzuführen. Andere Autoren kamen bei Untersuchungen über Phosphatzemente zu ähnlichen Ergebnissen. J ä n i c k e (12) schreibt: "Es ist doch gerade bei den Versuchen in vitro sehr eindrucksvoll, wenn man sehen kann, daß eine reine Haftfläche von 1 cm^2 zwischen Zement und Dentin durchschnittlich mit 10 kp und maximal sogar mit 25 kp belastet werden muß, ehe eine Trennung der beiden Körper eintritt". Anlaß zu Beanstandungen gebe in der Praxis denn auch nicht die Haftfähigkeit und Härte, sondern die ungenügende chemische Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Speichel und der Nahrung. R u f f (18), die Haftfestigkeitsprüfungen mit durch Schmirgelpapier angerauten Glasstöpseln durchführte, stellt fest: "Der primären, d.h. zwischen 1 und 3 Stunden zunehmenden Haftungsgröße folgt mit endgültiger Abbindung Haftungsabnahme bis zu einem für die einzelnen Präparate verschiedenen Punkt, der etwa zwischen 2 und 9 kg liegt. Nachdem dieser erreicht ist, tritt ein Dauerstadium ein, in welchem, wenn auch nunmehr in geringerem Maße, noch deutliche Haftung vorhanden ist" (Haftfläche meist etwa 120 mm^2). Unterschiede in der Größe der Haftung zwischen luftgetrockneten und bei bestimmter Feuchtigkeit aufbewahrten Prüfkörpern haben sich bei 24 Stunden-Versuchen nicht ergeben.

Von allen untersuchten Zementen (Klebern) zeigte Justi Resin-Cement die besten Haftfestigkeitswerte bei fast allen Kombinationen. Nur bei der Werkstoffkombination Metall/Glas bewies Uhu-Plus nach der Trockenlagerung und auch noch nach der Naßlagerung eine überlegene Haftkraft. Die starke Haftung der Epoxydharzkleber auf Metallen, vor allem jedoch auf Glas oder Porzellan, und die damit gegebene, besondere Eignung zur Vereinigung gerade dieser Materialien zeigte sich bereits in ähnlichen Versuchen anderer Autoren. So erzielte schon G a t z k a (9) beim Araldit, Typ "103", einem kalthartenden Athoxylinharz, "hoffnungsvolle" Ergebnisse bei der Porzellan/Metallverklebung. Interessant ist ferner, daß auch dieser Autor eine größere Konstanz der Festigkeitswerte bei diesem Kleber, im Gegensatz zu den übrigen untersuchten Kaltplasten, feststellte, auch nach Lagerung in künstlichem Speichel.

Die im Vergleich zu den anderen Kombinationen geringeren Werte und die starke Haftfestigkeitsabnahme nach Naßlagerung bei der Werkstoffkombination Metall/Glas trat in meinen Versuchen bei F88 und Resin-Cement, also beiden chemisch verwandten Zementen, auf. Zementreste waren nach den Haftfestigkeitsprüfungen immer am Metall vorzufinden. Der Grund für die schlechten Ergebnisse ist eindeutig in der geringen Haftung am Glas zu sehen. W e i n e r (28), der denselben Befund hatte, meint, die große Härte des Glases, welches nach der Sandbestrahlung nicht dieselbe Rauigkeit aufweise wie das Metall, sei teilweise die Ursache dafür. Es besteht sicher keine Affinität der Kunststoffzemente zu beiden Materialien, doch ist auch an eine chemische Beeinflussung der Zemente durch das Glas zu denken, welche möglicherweise eine weitere Ursache der geringen Werte ist.

Die Kombination Metall/Kunststoff erbrachte bei F88, Resin-Cement und Uhu-Plus nach der Trockenlagerung recht hohe Haftfestigkeitswerte. Nur F88 zeigte von diesen Kunststoffklebern einen starken Abfall dieser Werte nach der

Naßlagerung. Die Ursache dürfte wohl vornehmlich in den die Eigenschaften der Zemente auf Methakrylatbasis bestimmenden Füllstoffen zu finden sein.

Die Werkstoffkombination Kunststoff/Kunststoff ergab die höchsten und gegen Feuchtigkeit beständigsten Haftfestigkeitswerte. Im Falle von F88 und Resin-Cement erfolgt hier wahrscheinlich, wie auch W e i n e r (28) meint, ein Anlösen der Werkstoffoberflächen durch die chemisch verwandten Zemente. Es ist wohl ein ähnlicher Vorgang anzunehmen, wie er bei der Reparatur eines zahnärztlichen Ersatzstückes aus Kunststoff durch entsprechende Kaltplaste abläuft.

Neben der Feststellung des statistisch gesicherten Unterschiedes ($P \leq 1\%$) zwischen allen Klebern und zwischen F88 und Resin-Cement im besonderen, interessierte in der Arbeit vornehmlich der Einfluß der langen Naßlagerung. G a t z k a (6), S c h w i n d l i n g (22) stellten bei Kunststoffzementen ein erhebliches Nachlassen der Haftfestigkeitswerte nach Naßlagerung fest. S c h w i c k e - r a t h (21), der die Haftfestigkeit von Kunststoffzementen untersuchte, darunter auch von Resin-Cement, benutzte dazu gleichfalls Werkstoffe wie Messing und Kunststoffe auf Methakrylatbasis. Nach Aufbewahrung der Proben in Leitungswasser zeigte sich, daß die Haftung bald nachließ und nach einigen Monaten nahezu gleich Null war. Daraus schloß er auf eine schlechte Eignung dieser Kunststoffzemente für prothetische Zwecke. Für Polymethakrylsauremethylester kamen W e r t h e r (29), B a r t r a m und F i s c h e r (1) zu ähnlichen Ergebnissen. W e i n e r (28) führte Untersuchungen durch über die Haftfestigkeit von Biofix-R, einem Epoxydharz, sowie füllstoffhaltigen Autopolymerisaten, wie Grip-Zement, Palaferm und ebenfalls Justi Resin-Cement. Seine Prüfkörper und auch seine Versuchsanordnung entsprechen den meinen. Nach 10 Tagen Naßlagerung waren die Versuchsergebnisse sogar noch besser geworden als nach 3-tägiger Trockenlagerung,

die Werte des auch bei ihm besten Zementes, des Resin-Cements, ebenfalls; letztere mit Ausnahme der Kombination Metall/Glas. Weiner führt diese, von den anderen Autoren abweichenden Ergebnisse auf eine unterschiedliche Versuchsanordnung zurück. Die Größe der dem wässrigen Milieu ausgesetzten Oberfläche sei bei seinen Prüfkörpern sehr klein (kleiner Spalt), somit auch die Wasserabsorption, die Quellung des Kunststoffklebers und deshalb ebenfalls die dadurch bedingte Schädigung seiner Haftfestigkeit.

Meine Versuche zeigen nun, daß auch eine lange Naßlagerung von 16 Monaten die Haftfestigkeit von Resin-Cement (wie auch von Uhu-Plus) nur bei der Kombination Metall/Glas wesentlich beeinträchtigen kann. F88 zeigte außerdem noch einen starken Abfall der Werte bei Metall/Kunststoff.

Nach den Angaben des Herstellers waren beim neuen Kunststoffzement F88 besonders gute Haftfestigkeitswerte zu erwarten. ("Ein Klebe- und Befestigungszement von bisher unerreichter Haftkraft"). Die experimentelle Prüfung ergab jedoch, wie die Tabellen zeigen, daß F88 z.B. dem Resin-Cement keineswegs überlegen ist.

6. Zusammenfassung:

Untersucht wurden die Haftfestigkeit der beiden Kunststoffzemente Justi Resin-Cement und F88 sowie zu Vergleichszwecken die des Phosphatzementes Tenet und von Uhu-Plus.

Die Haftfestigkeitsprüfung wurde unterteilt in eine Zerreiß- und Scherfestigkeitsprüfung, welche an der Zugprüfmaschine "Testatron" erfolgten.

Die zu verbindenden Werkstoffe waren Glas, Metall und Kunststoff in folgenden Kombinationen: Metall/Glas, Metall/Kunststoff und Kunststoff/Kunststoff.

Die Prüfung der mittels der Zemente (Kleber) zusammengefügtten Versuchskörper erfolgte jeweils nach 10 Tagen

Trockenlagerung und 16 Monaten Naßlagerung.

Die dreifache Varianzanalyse ergab gesicherte Unterschiede ($P \leq 1\%$) zwischen den Zementen (Klebern), Werkstoffen, Lagerungen und bei allen Wechselwirkungen. Bei orthogonalen Vergleichen zeigte sich unter anderem ein gesicherter Unterschied zwischen F88 und Resin-Cement.

Nach der Trockenlagerung wurden die sehr hohen Haftfestigkeitswerte von Resin-Cement und F88 nur bei Metall/Glas von Uhu-Plus übertroffen. Bei den anderen Kombinationen lagen die Werte von Resin-Cement an der Spitze, es folgten F88 und ebenfalls noch mit günstigen Ergebnissen Uhu-Plus. Tenet zeigte eine erwartete, vergleichsweise geringe Haftung.

Durch die Naßlagerung büßten Resin-Cement wie auch Uhu-Plus nur bei Metall/Glas stark an Haftfestigkeit ein, F88 hingegen auch bei Metall/Kunststoff. Resin-Cement zeigte auch jetzt außer bei Metall/Glas die besten Werte. Uhu-Plus übertraf nun die Werte von F88 erheblich, außer bei der Kombination Kunststoff/Kunststoff, bei der sich die guten Ergebnisse von F88 gehalten hatten. Die Werte von Tenet hatten sich erhöht.

Ich möchte hier Herrn Professor Dr. F. Jung für die Überlassung des Themas danken. Mein Dank gilt auch Herrn Oberarzt Dr. Marx für seinen Rat und seine Anregungen. Den Herren Dipl. Ing. Dr. Wallhäuser und Dipl. Ing. Vetter der Technischen Hochschule in Darmstadt bin ich dankbar für ihre Hilfe bei der Durchführung der Versuche. Für die statistische Beratung bin ich Herrn Professor Dr. Dr. S. Koller und seinen Assistenten Dr. Lange und Dr. Friedel zu Dank verpflichtet.

Literaturverzeichnis

1. Bartram, E.:
Fischer, C.H. "Untersuchungen über das Haftvermögen der schnellhärtenden Kunststoffe an Dentin und Phosphatzement." Dtsch. Zahn-Mund-Kieferhk. 17 (1952) S. 177-188
2. Büttner, M.: "Die Unterschiede der Haftfestigkeit des Befestigungszementes an Schmelz, Dentin und Metall." Med. Diss. Marburg 1958
3. Priak, F.: "Die Bedeutung der Akrylate in der modernen Zahnheilkunde." Österr. Zschr. Stomat. 51 (1954) S. 86-91
4. Drum, W.: "Die Prüfungsvorschriften für Phosphatzemente. Erwiderung auf die vorstehende Arbeit von Prof. Weikart." Dtsch. zahnärztl. Zschr. 4 (1949) S.1555-1557
5. Falck, K.: "Einführung in die Werkstoffkunde für Zahnärzte." München 1948
6. Gatzka, K.: "Bericht über weitere Untersuchungen mit Kunststoffklebern in der Dentaltechnik." Dtsch. Zahnärztebl. 9 (1955) S. 619-622
7. Haefeli, M.: "Aufbau und Eigenschaften von Dentalkunststoffen." Schweiz. Mschr. Zahnhk. 57 (1947) S.779-817
8. Hahn, F.F.: "Beitrag zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Zinkphosphatzementen." Med. Diss. Köln 1955
9. Hattemer, A.: "Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe." Dtsch. zahnärztl. Zschr. 5 (1950) S. 1031 - 1033
10. Höxbröe, A.: "Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur und Feuchtigkeit auf Erhärtungsdauer, Klebekraft und Kohäsion der Phosphatzemente." Med. Diss. Berlin 1920
11. Idolski, M.: "Ist die Haftintensität des Zinkoxydphosphatzementes auf die Bildung eines chemischen Zwischenkörpers zurückzuführen?" Med. Diss. Greifswald 1921
12. Jänicke, K.: "Die Bedeutung der Verarbeitungsweise für die Haftintensität des Phosphatzementes." Med. Diss. München 1955
13. Lockowandt, P.: "Experimentelle Untersuchungen über die Haftintensität des schnellhärtenden Kunststoffs." Zahnärztl. Welt. 7 (1952) S. 298-302

14. Lockowandt, P.: "Experimentelle Untersuchungen über die Schrumpfung des schnellhärtenden Kunststoffes." Dtsch. Zahn-Mund-Kieferhk. 16 (1952) S. 449-457
15. Paffenbarger, G.C.: "Resin cements." J. Am. Dent. Ass. 51 (1955) S. 469-471
16. Paquin, A.M.: "Epoxydverbindungen und Epoxydharze." Berlin-Göttingen-Heidelberg 1958
17. Rawitzer, W.: "Allgemeine Methode zur Materialprüfung bei der Untersuchung von Zahnzementen." Dtsch. zahnärztl. Wschr. 35 (1932) S. 1131-1150
18. Ruff, H.: "Beitrag zur experimentellen Bestimmung der Haftintensität der Zinkphosphatzemente." Med. Diss. Berlin 1937
19. Santorik, St.: "Neue Untersuchungen über sog. selbstpolymerisierende Kunstharze." Schweiz. Mschr. Zahnh. 60 (1950) S. 1198-1229
20. Schmidt, W.: "Anlage und statistische Auswertung von Untersuchungen." Hannover 1961
21. Schwickerath, H.: "Über die Haftung von Plasten." Zahnärztl. Welt. 62 (1961) S. 207-209
22. Schwindling, R.: "Über die Verwendungsfähigkeit von Kunststoffklebern in der zahnärztl. Prothetik." Reichert, P. Dtsch. zahnärztl. Zschr. 19 (1964) S. 333-339
23. Stoschek, F.: "Eine neuartige unmittelbare Vereinigung von Porzellan und Metall." Zahnärztl. Welt. 7 (1952) S. 535-536
24. Wannenmacher, E.: "Lehrbuch der klinischen Zahnheilkunde." 3. Aufl. Leipzig 1963
25. Weikart, P.: "Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe." Dtsch. zahnärztl. Zschr. 4 (1949) S. 1550-1554
26. Weikart, P.: "Adhäsion oder Haftintensität von Zahnzementen." Dtsch. zahnärztl. Zschr. 5 (1950) S. 1033-1034
27. Weikart, P.: "Leitfaden der zahnärztlichen Werkstoffkunde." München 1950

28. Weiner, L.: "Experimentelle Untersuchungen über die Haftfestigkeit und Farbbeständigkeit von Befestigungszementen auf Kunststoffbasis."
Med. Diss. Mainz 1965
29. Werther, F.H.: "Über das Haftvermögen der Methacrylsäuremethylesterkunststoffe an Metallen und die Bedeutung für die zahnärztliche Prothetik."
Med. Diss. Greifswald 1958

L e b e n s l a u f

Am 14. Februar 1941 wurde ich in Cochem an der Mosel als Sohn des Zahnarztes Hans Hegerl und seiner Frau Elisabeth, geb. Laux geboren. Ich besuchte ab Herbst 1947 die Volksschule, anschließend das sechsklassige Realprogymnasium in Cochem und danach das staatl. Gymnasium in Mayen, wo ich am 24.2.61 das Abitur bestand. Ab Mai 1961 begann ich mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg Universität in Mainz. Im Herbst 1963 bestand ich dort nach fünf vor-klinischen Semestern die zahnärztliche Vorprüfung. Nach fünf weiteren Semestern legte ich im Sommer 1966 die zahnärztliche Prüfung ab.

